

# KÜLÖNBÖZŐ FÉMÖTVÖZETEK KEVERÉKÉBŐL 3D FÉMNYOMTATÁSSAL ELŐÁLLÍTOTT SZÍNES ANYAGOK VIZSGÁLATA

## INVESTIGATION OF COLORED MATERIALS PRODUCED BY 3D METAL PRINTING FROM A MIXTURE OF DIFFERENT METAL ALLOYS

*Dr. Szakál Zoltán PhD<sup>1</sup>., Dr. Kári-Horváth Attila PhD<sup>1</sup>., Tóttösi Ákos<sup>2</sup>, Dr. Kátai László PhD<sup>1</sup>  
1- Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, 2- TcT Hungary Kft.*

### ABSTRACT

The main objective of this paper is to analyse the 3D metal printing technology and its application to produce composite materials from a mixture of different metal alloys (CL80 bronze, CL 92 steel). The mechanical behaviour of different 3D printed materials were examined. We performed a tensile test of specimens printed with different orientations and different material layers.

The results show that the 50-50% bronze-steel specimens do not achieve the guaranteed theoretical strength, which is due to the printing parameters set for the material with a lower melting point. The research showed that it is possible to print several different metallic materials in 3D in one session, thus creating coloured bodies in the material.

Keywords: 3D metalprinting, crystal structure, CL80 bronze, CL 92 steel, metallography, design

### 1. BEVEZETÉS

A 3D nyomtatás egy rendkívül gyorsan fejlődő technológia, amely jelen van számos ipari szektorban, az egészségügyben, az oktatás és a szolgáltató piac világában és még további térnyerésre van esély. Amíg néhány évvel ezelőtt elsősorban a prototípus gyártásban alkalmazták, addig mára már egyre nagyobb a jelentősége a késztermék előállítás területén is, egyre több anyag használható és növekszik a gyártási sebesség, valamint csökken a termékre vetített gyártási költség. [1,4]

A kutatás tárgya egy olyan eljárás, amely a fém alapú, porágyas additív technológiára (PBF – Powder Bed Fusion) alapulva olyan új, egy eddig ismeretlen technológiát tartalmaz, amely lehetővé teszi különböző fém rétegek (pl. acél és bronz) egymásra vagy egymás mellé nyomtatását egy munkamenetben. Ennek eredményeképpen a késztermékben különböző anyagú fém sávok rétegesen (különböző orientációban) váltakoznak, de mégis egy merev, homogén testet alkotnak.

Egy alkatrész gyártásakor az építési irányok nemcsak az elkészítéshez szükséges időt, hanem a munkadarab mechanikai tulajdonságait, valamint a támaszték anyag használatának mennyiségét és a munkadarab felületi minőségét is befolyásolják. A szakirodalom, valamint saját tapasztalataink szerint a 3D nyomtató munkaterébe úgy célszerű behelyezni a munkadarabot, hogy annak a sík felületei 45°-os szögben legyenek a gépasztalhoz képest. Ebben az orientációban lesznek a „legszebbek” a síkfelületek, valamint a legnagyobb húzószilárdságot is ebben az esetben éri és a gyártmány. [5,6,7]

Korábbi vizsgálataink során műanyag próbatestek esetében elemeztük, hogy a nyomtatási orientáció milyen hatást gyakorol a szilárdsági jellemzőkre. [2,3]

Jelen kutatásban különböző fémek egy menetben történő 3D nyomtathatóságának kérdéseit vizsgáltuk. A munka során arra kerestük a választ, hogy a CL 80 (bronz) és a CL92 PH (acél) por alapanyagok nyomtatása lehetséges-e egy gyártási folyamaton belül. A munka során megkerestük azokat a gépbeállításokat, amellyel a legnagyobb szilárdságot tudjuk előállítani. A kérdés volt, hogy a legjobb technológiai paraméterek mellett a gyártói szilárdsági értékek előállíthatók-e.

### 2. A VIZSGÁLATHOZ VÁLASZTOTT ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A kutatás során két különböző színű alapanyagot használtunk, ezek a CL 80 sötét vöröses színű bronz, valamint az ezüstös színű CL92PH acél volt. A két eltérő színű anyagpárosításra a design az-az a színes alkatrészek nyomtatása okán esett a választásunk. Az alkalmazott anyagok olvadáspontja jelentősen eltér, így a 3D nyomtatástechnológiai paraméterek is eltérőek.

#### *Acél*

A CL 92PH acél alapanyag nagyon jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik, illetve könnyen hő kezelhető. Ideális anyag az öntésnél használt kokillához, nagy teljesítményű gépészeti alkatrészekhez, motorsport, repülőgép alkatrészként. Ez az acél alkalmazható, akár orvosi eszközök gyártásához is.

Az alapanyag tulajdonságai: nagy szakítószilárdság, magas folyáshatárány, jó szívósság (kontrakció, nyúlás, ütőmunka, repedési szívósság) alacsony hőmérsékleten is, nagy szakítószilárdság, jó hőrepedés-állóság.

1. táblázat A CL 92PH alapanyag mechanikai tulajdonságai

Tulajdonság	Paraméter
Folyáshatár ( $R_{p0,2}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	820±50
Szakítószilárdság ( $R_m$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	900±60
Nyúlás (A) [%]	13±2
Hővezetőképesség ( $\lambda$ ) [W/mK]	16
Keménység (HRC)	31-35

### Bronz

Bevonattal ellátva eredeti, vagy önmagában alkalmazva mestermodellek gyártására alkalmazzák ékszerkészítés terén. Az anyag jól forrasztható, hidegformázható. Ékszerek készítéséhez alkalmazható, mivel jól csiszolható, polírozható.

Az alapanyag tulajdonságai: Az anyag öntéskor híg folyós, jó térkitöltéssel rendelkezik, zsugorodása minimális. Az elkészült termék keménysége nagyobb az ezüstétől.

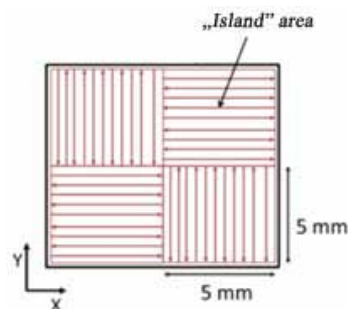
2. táblázat A CL 80 alapanyag mechanikai tulajdonságai

Tulajdonság	Paraméter
Folyáshatár ( $R_{p0,2}$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	400
Szakítószilárdság ( $R_m$ ) [N/mm <sup>2</sup> ]	500
Nyúlás (A) [%]	5
Hővezetőképesség ( $\lambda$ ) [W/mK]	16
Keménység (HV 0,2)	171±7

### Módszer:

A munkánk során egy a kereskedelmi forgalomban kapható PBF technológián alapuló Thinkspace CL/TST2 Pro 3D nyomtatót alkalmaztunk. A gép munkatere 200x200x250 mm. A nyomtató 200W lézerteljesítményt használ. Az 1. ábrán az alkatrész felületének egy 5x5 mm részlete, valamint az alkalmazott levilágítási stratégia látható.

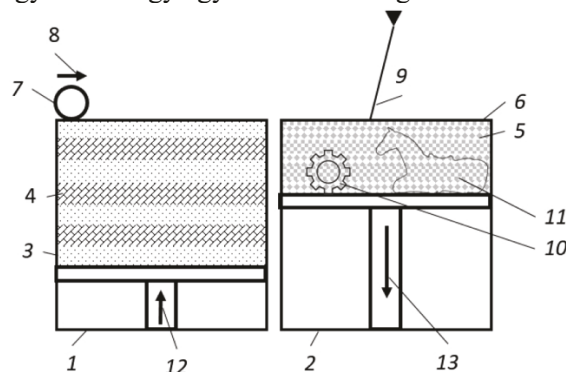
A kutatásunk során alkalmazott Thinkspace CL/TST2 Pro 3D nyomtató egy porágyas eszköz, amellyel előállíthatunk műszaki (10) vagy design (11) terméket is (2. ábra).



1. ábra. A lézer levilágításának stratégiája

A rétegszámot alapvetően meghatározza a por szemcsemérete, amely jellemzően 20-60  $\mu$ m közé esik.

A jelen technológia alkalmazása során a kívánt színhatást fordított sorrendben előre be kell tölteni a gép alapanyag tárolójába. A feladatnak megfelelően a különböző alapanyagokat egymásra vagy egymás mellé rétegezzük.



2. ábra. A réteges additív gyártási folyamat

Az additív gyártástechnológiai eljárásnak köszönhetően a felhasznált por alapanyagok tömör, több alkotós fémes testté olvadnak össze kohéziós kötést létrehozva, egyazon gyártási ciklus során. A gyártás során az alapanyag tárolóba (1) helyezett különböző anyagú por rétegek (3,4) magassági vagy szélességi mérete nem egyezik meg a gyártás utáni összeolvadt rétegek (10,11) magassági vagy szélességi méretével. A kettő közötti kapcsolatot a technológiai paraméterek határozzák meg.

### A porkamra feltöltésének menete:

1. Porkamra szintbe állítása a terítési síkkal
2. Porkamra süllyesztése 8-10 mm-re
3. 80 ml acél por betöltése
4. Porkamra fokozatos emelése 6 mm-es süllyesztési szintig, miközben egy alkalmas eszközzel (pl. fém terítőlapáttal) többször elsímítjük a por felszínét
5. Többlet fémpor eltávolítása ecsettel/porszívóval a porkamra pereméről
6. A ciklus ismétlése a 2. ponttól bronz fémporral

7. A ciklus ismétlése a 2. ponttól acél és bronz fémporok váltakozó rendben történő feltöltésével a kívánt szintig vagy a porkamra alsó végállásáig

A tesztelt és alkalmazott eljárás végeredményeként a kész nyomtatott darab 2,5-3,5 mm vastagságú, váltakozó rendben felépülő acél-bronz sávokból áll. Az egyes sávok vastagságát a nyomtatási folyamat során beállított terítési érték határozza meg, amely optimális értékét elsősorban a munkadarab mérete, geometriája, illetve a levilágítandó keresztmetszete határozza meg. Alapszabályként elmondható, hogy nagyobb keresztmetszetek esetén 350-400%-os terítési érték, míg kisebb keresztmetszetekhez 200-250% megfelelő. Nagy mértékben változó keresztmetszet esetén a nagyobb keresztmetszethez célszerű megválasztani a terítési értéket. Ezt egyébként változtathatjuk is a nyomtatás során, azonban ekkor a sávok vastagsága eltérő lehet!

A kitűzött 2,5-3,5 mm-es sávvastagsághoz a porkamrában 4-6 mm-es porrétegeket kell elhelyezni. Amennyiben éles határvonal a cél az acél és bronz sávok között, úgy célravezető a lehető legtökéletesebben elsimítani az egyes sávokat.

5. táblázat alkalmazott gyártási paraméterek

Paraméter	Beállított érték
Lézer fókuszátmérő [ $\mu\text{m}$ ]	50
Inertgáz	Nitrogén
Lézerteljesítmény [W]	
• Kontúr	95
• test	95
• támaszték	50
Levilágítási sebesség [mm/s]	
• Kontúr	250
• test	250
• támaszték	500
Szeletvastagság [ $\mu\text{m}$ ]	25
Levilágítási stratégia	sakktábla

A 3. ábrán egy olyan próbadarab látható, amely esetében színátmenetet hoztunk létre az alkalmazott két anyag esetében, olyan módon, hogy az alkalmazott por alapanyagokat tisztán ill. azok keverékeként alkalmaztuk.



3. ábra. Több színkeveréket tartalmazó próbadarab

### 3. EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A munka során a kisebb olvadáspontú lapanyagra megadott gépbeállítási paramétereket alkalmaztuk. A gyártási folyamat során a levilágítás okozta hősokek következtében a rétegek elváltak. A paraméterek tesztelése során változtattuk a levilágítási időt, valamint a lézer teljesítményt, azonban a termékek továbbra sem voltak tökéletesek, azok réteghatárain mikropedések jelentek meg. A repedések nyílása 16 -30  $\mu\text{m}$  nagyságú, beállítási paramétertől függően a teljes keresztmetszeten végig futhatnak.



4. ábra. A CL92(a) és CL80 (b) alapanyag határfelületi repedései

A tesztek során megállapításra került, hogy az alapanyagra megadott gyártói paraméterek alapján számolt energiabevitel el kell érni a sikeres nyomtatás érdekében. A levilágítás során befektetett energia az alkalmazott lézer teljesítménytől, és fordított arányban a lézer pásztázási sebességétől függ. A levilágítás során bevitt energia egy része a szemcsék összeolvasztására fordítódik, és egy másik jelentős része pedig eldisszipálódik a test belseje felé. A hődiffúzió okán az aktuálisan levilágított réteg alatt 3-5 réteg vastagságban még az olvadási hőmérséklet 80-90 %-a figyelhető meg. A további rétegek hőmérséklete a környezet, és az alkatrész belseje felé való hődiffúzió okán drasztikusan lecsökken, ami egy belső feszültséget hoz létre az anyagban. A két különböző hővezetőképességű anyag alkalmazása esetén a kisebb hővezetési tényezővel rendelkező anyagban fog a repedés kialakulni. A kutatásunk során a gyártási paramétereket oly módon módosítottuk, hogy a bevitt hőmennyiség megtartása mellett 10-15 %-kal csökkentettük a levilágítási sebességet. Ezzel a beállítással nő a gyártási idő, nő az egy réteg levilágításának időszükséglete, több idő jut a hődiffúzióra, így egyenletesebb a testben a hőeloszlás, amely csökkenti a belső feszültséget. A munka során szilárdsági vizsgálatokat végeztünk, Zwic Roell Z100 szakítógépen az EN 6892-1:2012 szabványnak megfelelően. A méréseinkhez 3D nyomatással készítettünk különböző orientációban nyomtatott CL80 és CL92PH anyagú próbatesteket. A teszteket 8 rétegű élben nyomtatott, 3 rétegű lapjában nyomtatott, és a gép munkaterében 45°-ban nyomtatott próbatesteket készítettünk. A próbatestek 50-50%-ban tartalmazták a két

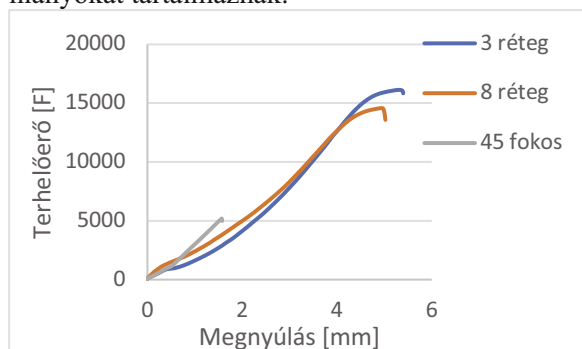
alapanyagot. A munka során minden orientációjú próbatestből 5 db-t nyomtattunk.



5. ábra. A CL92 és CL80 alapanyagból készült próbatestek

Az előzetes alapanyagteszt során az irodalommal megegyező eredményekre jutottunk miszerint a nyomtatás orientációja befolyásolja a késztermék szilárdságát. Az előzetes méréseink során megállapítottuk, az alkalmazott gépbeállításokkal az anyag megfelel a gyártó által megadott szilárdsági paramétereknek, valamint, hogy a 45°-ban nyomtatott próbatestek szilárdsága 10%-kal nagyobb, mint a gép munkalapjában nyomtatott próbatestek esetében. Ezzel szemben két anyagféleséget alkalmazva a 45°-ban nyomtatott próbatest rétegei szemmel láthatóan elválnak egymástól, így azok szilárdságilag sem megfelelőek.

Az eredményekből megállapítható, hogy az 50-50 %-os réz-acél próbatestek garantált elméleti szilárdságot nem érik el, ez köszönhető a kisebb olvadáspontú anyagra beállított nyomtatási paramétereknek. A 45°-ban nyomtatott próbatestek esetében a szilárdsági paraméterek nem mérvadók, mivel már a nyomtatáskor is szemmel látható repedéseket folytonossági hiányokat tartalmaznak.



6. ábra. A különböző irányú próbatestek szakítógörbéi

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatással megmutattuk, hogy lehetséges egy munkamenetben több különböző fémes anyag 3D nyomtatása, ezzel anyagában színes testek, hozhatók létre. A technológia elterjedésével az

alkalmazott eszközök is fejlődni fognak, így valószínűleg a későbbiekben alkalmassá válnak a több különböző színű, és mechanikai tulajdonságú alapanyagok fogadására is. A műszaki gyakorlatban igen nagy jelentősége lesz az ilyen eszközöknek, hiszen a fogaskerekek, a tengelyek edzett felületeit és magrészeit egy menetben különböző szilárdságú acélból lehet majd előállítani, amely nem igényel további hőkezelést. A nyomtatók fejlődésével lehetőség lesz pl. bronzperselyek közvetlen az agyba való nyomtatására, így annak javul a szilárdsága, valamint a súrlódásból keletkező hőelvezető képessége.

A kutatás a **VEKOP-2.2.1-16-2017-00004** azonosító számú, **3Design** című projekt támogatásával valósult meg.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KÁTAI et.al.: CAD tankönyv. Typotex Kiadó, Budapest, 2012. ISBN 978-963-279-534-8
- [2] KÁTAI L., SZABÓ I., LÁGYMÁNYOSI A., SZAKÁL Z.: A 3D nyomtatás egyes paramétereinek hatása a nyomtatott anyag szilárdsági jellemzőire In: Gép, LXX. évf. 3. szám, Miskolc, 2019, 42-45. o., ISSN 0016-8572
- [3] KÁTAI L., SZABÓ I., LÁGYMÁNYOSI A., LÁGYMÁNYOSI P., SZAKÁL Z.: Additív gyártástechnológiában alkalmazott anyag szilárdsági jellemzőinek vizsgálata a 3D nyomtatás paramétereinek függvényében In: Gép, LXIX. évf. 4. szám, Miskolc, 2018, 45-48. o., ISSN 0016-8572
- [4] A. Popovich, V. Sufiiarov, Metal Powder Additive Manufacturing, *New Trends in 3D Printing*, Chapter 10, InTech, (2016) DOI: 10.5772/63337.
- [5] Hanzl, P., Zetek, M., Bakša, T., & Kroupa, T. (2015). The influence of processing parameters on the mechanical properties of SLM Parts. *Procedia Engineering*, 100, 1405-1413.
- [6] Zhang Jian, Li Deying et al. (2012) "Simulation of Temperature Field in Selective Laser Sintering of Copper Powder"
- [7] Ashby, M. F., & Gibson, L. J. (1997). *Cellular solids: structure and properties*. In Cambridge University Press. Cambridge New York.